

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

2.1.1 Pengertian Perawatan

Perawatan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk menjaga kondisi sebuah objek tetap dalam kondisi yang prima (Dhillon, 2002). Menurut Kurniawan dalam (Kurniawati & Muzaki, 2017), Perawatan merupakan kegiatan pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan dan pemeriksaan di dalam suatu sistem produksi.

Kesimpulannya adalah merupakan sekumpulan kegiatan yang bertujuan untuk menjaga kondisi fasilitas produksi supaya tetap dalam kondisi standar. Di bawah ini beberapa istilah dalam perawatan :

1. *Inspection* (Inspeksi)

Inspeksi merupakan kegiatan pengecekan untuk mengetahui kondisi fasilitas yang digunakan dalam proses produksi.

2. *Repair* (Perbaikan)

Perbaikan merupakan kegiatan yang dilakukan pada mesin produksi agar dapat berfungsi kembali sesuai dengan fungsinya

3. *Overhaul* (Perbaikan Menyeluruh)

Perbaikan menyeluruh merupakan kegiatan yang dilakukan secara keseluruhan pada fasilitas produksi yang ada, sehingga, mengakibatkan berhentinya proses produksi.

2.1.2 Jenis-jenis perawatan

Maintenance (perawatan) dapat dikategorikan dalam beberapa jenis menurut Prawirosentono dalam (Kurniawati & Muzaki, 2017) :

1. ***Planned Maintenance***

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan berdasarkan SOP (standar operasional prosedur) yang sudah ditentukan perusahaan. Perawatan terencana dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

➤ *Preventive Maintenance*

Merupakan kegiatan perawatan terjadwal yang dilakukan dalam periode waktu yang tetap

➤ *Corrective Maintenance*

Merupakan kegiatan perawatan ketika hasil produksi tidak sesuai dengan rencana

2. *Unplanned Maintenance* (perawatan tidak terencana)

Merupakan kegiatan perawatan mesin ketika terdapat proses produksi yang menghasilkan produk cacat.

2.2 Pengertian Keandalan (*Reliability*)

Keandalan adalah “kemampuan suatu produk berada pada kondisi yang sesuai dengan fungsi tertentu dalam suatu lingkungan atau kondisi operasi yang spesifik” (Sodikin, 2010). Menurut pengertian umum, keandalan dapat dikatakan sebagai sebuah patokan atau standar kemampuan dari suatu komponen untuk dapat berfungsi pada kondisi operasi tertentu selama selang waktu tertentu.

Distribusi yang sering digunakan untuk menghitung keandalan adalah distribusi *Normal*, *Weibull*, *Ekspontential* dan *Lognormal*. Berikut distribusi dalam keandalan menurut Ebeling dalam (Iriani, 2011) :

a. Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi empiris yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan mencakup tiga *frase* kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan. Biasanya distribusi ini digunakan pada komponen mekanik.

Distribusi ini menggunakan dua parameter, yaitu θ (parameter skala) dan β (parameter bentuk). Berikut fungsi *reliability* dalam distribusi *Weibull* :

Reliability Function :

Fungsi kepadatan probabilitas:

$F(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}}$	(1)
--	-----

Fungsi distribusi kumulatif:

$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right]$	(2)
--	-------

Fungsi keandalan dalam distribusi Weibull:

$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$	(3)
---	-------

Nilai laju kerusakan distribusi Weibull:

$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$	(4)
---	-------

Mean Time To Failure distribusi Weibull:

$MTTF = \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$	(5)
---	-------

Keterangan:

$R(t)$ = Fungsi keandalan

t = Waktu, $t \geq 0$

β = Shape parameter, $\beta < 0$

λ = Laju kerusakan

η = Scale parameter untuk karakteristik life time $\eta > 0$

Dimana $\theta > 0$, $\beta > 0$ dan $t > 0$

Parameter menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk pada distribusi *weibull*. Tabel 2.1 menunjukkan laju kerusakan dari perubahan nilai-nilai parameter bentuk (β).

Tabel 2.1 Nilai Parameter Bentuk (β) Distribusi *Weibull*

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun (<i>decreasing failure rate</i>) \rightarrow DFR
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan (<i>constant failure rate</i>) \rightarrow CFR Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat (<i>increasing failure rate</i>) \rightarrow IFR

	Kurva berbentuk konkaf
$\beta = 2$	Laju keusakan linier (<i>linier failure rate</i>) \rightarrow LFR
	Distribusi Reyleigh
$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat (<i>increasing failure rate</i>) \rightarrow IFR
	Kurva berbentuk konveks
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju kerusakan meningkat(<i>increasing failure rate</i>) \rightarrow IFR
	Kurva berbentuk simetris
	Distribusi Normal

b. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi Weibull juga sesuai dengan distribusi Lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat pada distribusi Lognormal yaitu:

Fungsi keandalan distribusi lognormal:

$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t}{\mu} \right) \right]$	(6)
---	-----

Laju kegagalannya:

$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	(7)
----------------------------------	-----

Mean Time To Failure:

$MTTF = \exp(\mu + (0,5 \times s^2))$	(8)
---------------------------------------	-----

Dimana : $s > 0$, $t_{med} > 0$ dan $t > 0$

c. Distribusi Normal

Distribusi normal dapat digunakan untuk memodelkan fenomena keausan. nilai tengah (μ) dan standar deviasi (σ) merupakan parameter yang

digunakan. Distribusi ini juga dapat digunakan untuk menganalisis probabilitas Lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi normal yaitu:

$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	(9)
---	-----

Laju kerusakannya:

$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right]}{\int_t^{\infty} \exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right]}$	(10)
--	------

Dimana $\mu > 0$, $\sigma > 0$ dan $t > 0$

d. Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung kehandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini adalah distribusi yang paling mudah dianalisis. Parameter yang digunakan dalam distribusi Eksponen adalah λ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi eksponensial yaitu:

Fungsi kepadatan probabilitas:

$F(t) = \lambda e^{-\lambda t}; t > 1$	(11)
--	------

Fungsi distribusi kumulatif:

$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	(12)
-----------------------------	------

Fungsi keandalan ditribusi eksponensial:

$\lambda R(t) = e^{(-\lambda t)}$	(13)
-----------------------------------	------

Nilai laju kerusakan:

$\lambda(t) = \lambda$	(14)
------------------------	------

Mean Time To Failure:

$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = 1/\lambda$	(15)
---	--------

Keterangan:

$R(t)$ = Fungsi keandalan

β = *Shape parameter*, $\beta < 0$

t = Waktu, $t \geq 0$

λ = Kecepatan rata-rata terjadinya kerusakan $\lambda > 0$

η = *Scala parameter* untuk karakteristik *life time* $\eta > 0$

Dimana $t > 0$ dan $\lambda > 0$

2.3 Interval Waktu Penggantian Berdasarkan *Minimize Downtime*

Downtime merupakan waktu suatu komponen sistem tidak dapat digunakan sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan (Jardine 1973). Untuk menentukan interval penggantian komponen optimal berdasarkan interval waktu (t_p), dengan meminimumkan tindakan penggantian *preventive* pada waktu t_p , dinotasikan sebagai $D(t_p)$:

$D(t_p) = \frac{H(t_p)T_f + T_p}{t_p + T_p}$	(16)
--	--------

Dimana:

$H(t_p)$ = Banyaknya waktu kerusakan (kegagalan) dalam interval waktu $(0, t_p)$ merupakan nilai harapan (*expented value*)

T_f = waktu yang diperlukan untuk penggantian kompoenn karena kerusakan

T_p = Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan *Preventive* (komponen belum rusak).

$T_f + T_p$ = panjang siklus.

Meminimumkan *downtime* dapat memperoleh tindakan penggantian komponen yang optimum. Untuk komponen yang memiliki distribusi kegagalan mengikuti distribusi peluang tertentu dengan fungsi peluang $f(t)$, maka nilai harapan

(*expented value*) banyaknya kegagalan yang terjadi dalam interval waktu $(0, tp)$ dapat dihitung sebagai berikut:

$H(tp) = \sum_{i=0}^{tp-1} [1 + H(tp - 1 - i)] \int_i^{i+1} F(t) dt$	(17)
--	--------

$H(0)$ ditetapkan sama dengan nol, sehingga untuk $tp = 0$, maka $H(tp) = H(0) = 0$

2.4 *Reliability Centered maintenance*

2.4.1 *Pengertian Reliability Centered Maintenance*

Menurut (Kurniawati & Muzaki, 2017), RCM merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui strategi perawatan yang paling sesuai. RCM merupakan suatu tindakan yang dilakukan untuk memastikan kondisi suatu sistem dapat berjalan sesuai dengan fungsinya dalam kurun waktu tertentu (Moubray, 1997).

1. Memelihara fungsional sistem agar fungsi sesuai dengan harapan.
2. Berfokus terhadap fungsi sistem.
3. Berdasar pada kehandalan.
4. Mempertahankan fungsi sistem tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut.
5. Mengutamakan keselamatan (*safety*) kemudian masalah ekonomi.
6. Mendefinisikan kegagalan (*failure*) sebagai kondisi yang tidak sesuai dengan harapan. Indikatornya berupa berjalannya fungsi sesuai dengan *performance standard* yang telah ditetapkan.
7. Memberikan hasil yang memuaskan misalnya dapat menurunkan jumlah *failure*.

RCM lebih berfokus pada analisis kualitatif pada komponen yang dapat menyebabkan kegagalan. Keuntungan dari pendekatan RCM adalah kegiatan perawatan menjadi efektif (Moubray, 1997). Hal ini dikarenakan *downtime* berkurang dan waktu penggunaan mesin dapat optimal. Selain itu kegiatan perawatan akan terfokuskan kepada *komponen kritis* sistem. Menurut (Afefy, 2010), *step* yang dilakukan dengan pendekatan RCM adalah:

1. *System selection and information collection*
2. *System boundary definition*
3. *System description and functional block diagram*
4. *System function and functional failures*
5. *Failure mode and effect analysis (FMEA)*
6. *Critically and Probability of Occurrence*
7. *Task selection*

2.4.1.1 System Sellation and Information Collection

Berbagai faktor seperti biaya dan tindakan yang dilakukan untuk melakukan preventive atau corrective maintenance yang cukup besar serta persoalan keselamatan dan lingkungan dipertimbangkan untuk pemilihan sistem. Dokumen seperti skema sistem, riwayat perawatan peralatan, prosedur manual sistem dapat dirujuk untuk pengumpulan informasi.

Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan sistem (Afefy, 2010) :

1. *Mean time between failures (MTBF)*
2. Biaya perawatan
3. *Mean time to repair (MTTR)*
4. *Availability (ketersediaan)*

2.4.1.2 System Boundary Definition

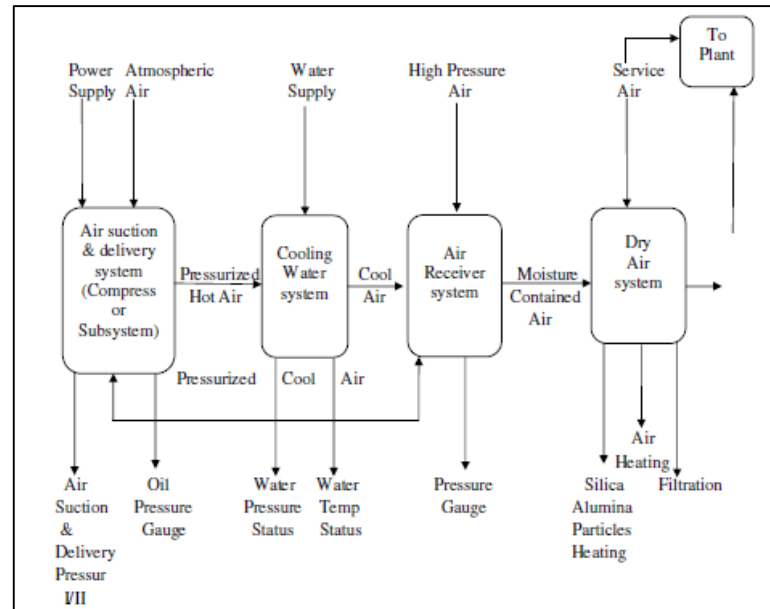
Peralatan-peralatan utama yang terdapat dalam sistem perlu untuk diidentifikasi. Penentuan batasan diperlukan untuk memastikan bahwa fungsi yang berpotensi penting tidak diabaikan dan tidak saling tumpang tindih.

2.4.1.3 System Description and Functional Block Diagram

Deskripsi sistem adalah suatu tahap yang digunakan untuk mengetahui komponen apa saja yang terdapat pada suatu sistem.

Functional block diagram (FDB) merupakan diagram yang menunjukkan suatu relasi antara fungsi objek dalam tingkatan yang sama. FDB berfungsi untuk

mendeskripsikan alur kerja dari suatu objek. Fungsi-fungsi dari sistem direpresentasikan dalam blok-blok dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut. Maksud dari pembuatan FDB adalah untuk memudahkan peneliti untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi.



Gambar 2.1 *Functional block diagram*

(sumber: Narnaware, 2017)

Keuntungan dari penggunaan FDB yaitu :

1. Sebagai informasi dasar dari sistem yang diamati.
2. Memperoleh pengetahuan system secara menyeluruh.
3. Dapat mengetahui proses yang menyebabkan terjadinya kegagalan sistem.

2.4.1.4 *System Function and Function Failure*

1. *System function*

Terdapat dua hal yang harus diperhatikan sebelum menentukan kegiatan yang sesuai dalam mempertahankan fungsi dari objek (Moubray 1997), yaitu :

1. Menentukan fungsi apa yang diinginkan dari objek tersebut.

2. Memastikan bahwa objek tersebut mampu berfungsi sesuai dengan harapan. Fungsi yang diinginkan terhadap objek dapat dikategorikan menjadi dua yaitu:

- a. *Primary Function*

Merupakan fungsi utama dari suatu objek. Contohnya adalah kecepatan, *output*, kapasitas penyimpanan, kualitas produk dan layanan terhadap konsumen.

- b. *Secondary Function*

Merupakan fungsi tambahan dari fungsi utama, dimana fungsi ini disesuaikan dengan keinginan. Contohnya adalah *Safety*, *control*, kenyamanan, ekonomi, perlindungan, efisiensi operasi, pemenuhan terhadap standar lingkungan serta semua yang tampak dan dimiliki oleh objek.

2. *Function failure*

Berikut merupakan tahap penerapan RCM untuk mengetahui kegagalan:

1. Mengidentifikasi penyebab yang merujuk kepada kegagalan.
2. Mengidentifikasi hal yang menyebabkan mesin gagal menjalankan fungsinya (*functional failure*), yaitu ketika sebuah mesin tidak dapat menjalankan fungsi sesuai dengan standar yang diinginkan.

2.4.1.5 *Failure Mode and Effect Analysis*

Langkah ini bertujuan untuk mengetahui fungsi dari sistem yang akan diteliti. FMEA merupakan metode yang bertujuan untuk menyeleksi sistem dengan mempertimbangkan *failure mode* dari komponen dan menganalisis pengaruh terhadap keandalan komponen tersebut (Sumantri, 2013).

Dengan analisis FMEA, kita dapat memprediksi komponen kritis mesin dan pengaruh apa yang diakibatkan bila komponen tersebut rusak. Sehingga kita dapat menentukan tindakan perawatan yang tepat untuk komponen tersebut.

Menurut Pranoto (2012) dalam Mandawa (2018), hal utama yang perlu diperhatikan dalam FMEA adalah *Risk Priority Number* (RPN). RPN merupakan

nilai matematis dari keseriusan *effect (severity)*, tingkat keseringan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan kemampuan untuk mengetahui kegagalan sebelum terjadi (*detection*).

$RPN = Severity * Occurrence * Detection$	(18)
---	------

Hasil dari RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai penunjuk kearah perbaikan. Terdapat tiga komponen untuk mengetahui nilai RPN, yaitu:

1. *Severity*

Severity merupakan tingkat dari efek yang dihasilkan oleh kegagalan terhadap keseluruhan mesin. Nilai rating *severity* antar 1 sampai 10. Berikut merupakan tingkatan efek dari *severity* seperti pada tabel 2.2:

Tabel 2.2 Tingkatan *Severity*

<i>Rating</i>	<i>Criteria of Severity Effect</i>
10	Tidak berfungsi sama sekali
9	Kehilangan fungsi utama dan menimbulkan peringatan
8	Kehilangan fungsi utama
7	Pengurangan fungsi utama
6	Kehilangan kenyamanan fungsi penggunaan
5	Mengurangi kenyamanan fungsi penggunaan
4	Perubahan fungsi dan banyak pekerja menyadari adanya masalah
3	Tidak terdapat efek dan pekerja menyadari adanya masalah
2	Tidak terdapat efek dan pekerja tidak menyadari adanya masalah
1	Tidak ada efek

(sumber: Pranoto, 2012)

2. *Occurrence*

Occurrence merupakan tingkatan dari frekuensi kegagalan yang berhubungan dengan jumlah kegagalan kumulatif yang muncul. Tingkatan *occurrence* antara 1 sampai 10 seperti pada tabel 2.3:

Tabel 2.3 Tingkatan *Occurence*

<i>Rating</i>	<i>Probabilitas of Occurrence</i>
10	Lebih besar dari 50 per 7200 jam penggunaan
9	35-50 per 7200 jam penggunaan
8	31-35 per 7200 jam penggunaan
7	26-30 per 7200 jam penggunaan
6	21-25 per 7200 jam penggunaan
5	15-20 per 7200 jam penggunaan
4	11-14 per 7200 jam penggunaan
3	5-10 per 7200 jam penggunaan
2	Lebih kecil dari 5 per 7200 jam penggunaan
1	Tidak pernah sama sekali

(sumber: Pranoto,2012)

3. *Detection*

Detection digunakan untuk mengukur kemampuan dalam mengetahui dan mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *detection* dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2.4 Tingkatan *Detection*

<i>Rating</i>	<i>Detection Design Control</i>
10	Tidak mampu terdeteksi
9	Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi
8	Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk terdeteksi
7	Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi
6	Kesempatan yang rendah untuk terdeteksi
5	Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi
4	Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi
3	Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi
2	Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi
1	Pasti terdeteksi

(sumber: Pranoto,2012)

2.4.1.6 *Critically and Probability of Occurrence*

Langkah ini bertujuan untuk menganalisis secara kritis kemungkinan apa saja yang dapat terjadi pada sistem dengan menggunakan *logic tree analysis* dan *critically analysis for plant components*.

1. *Logic Tree Analysis*

Logic tree analysis merupakan analisis dengan pendekatan deduktif (mundur) yaitu digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode*. Tujuan yaitu untuk mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori. Terdapat tiga pertanyaan dalam penyusunan *logic tree analysis*, yaitu :

1. *Evident*: Apakah dalam kondisi normal operator mengetahui, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety*: Apakah kerusakan ini dapat menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage*: Apakah kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin berhenti?

Berdasarkan LTA, *failure mode* dapat digolongkan ke dalam empat kategori:

1. Kategori A, jika mode kegagalan mempunyai konsekuensi *safety* terhadap personel maupun lingkungan.
2. Kategori B, jika mode kegagalan mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas *output* yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.
3. Kategori C, jika mode kegagalan tidak memberikan dampak pada *safety* dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi yang relatif kecil untuk perbaikan.
4. Kategori D, jika mode kegagalan tergolong sebagai *hidden failure*, yang kemudian digolongkan lagi kedalam kategori D/A, D/B, dan D/C.

2. *Critically Analysis for Plant Components*

Analisis kritis pada komponen mesin yang merujuk pada penelitian (Afefy, 2010). Terdapat tiga pengaruh yang dihitung yaitu *safety*, *production* dan *cost*,

dengan bobot 40%, 40% dan 20%. Selanjutnya kategori fungsi kegagalan dapat dilihat pada tabel 2.5 yang merujuk pada level *critically analysis* yang dapat dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2.5 *Critically Group*

<i>Group</i>	<i>Critically index</i>
A	3 – 2,5
B	2,5 – 2
C	2 – 1,5
D	1,5 - 1

Tabel 2.6 *Critically Analysis*

<i>Level</i>	<i>Description</i>
1	<i>Normal</i>
2	<i>Important</i>
3	<i>Very Important</i>

Tabel 2.7 *Critically Analysis for components*

<i>Equipment</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Cause</i>	<i>Critically Analysis</i>			<i>Critically Index</i>	<i>Group</i>
			<i>Safety</i>	<i>Production</i>	<i>Cost</i>		

2.4.1.7 Task Selection

Pemilihan tindakan bertujuan untuk mengetahui tindakan apa yang optimal untuk mode kegagalan yang ada. Pemilihan tindakan perawatan merupakan langkah terakhir dalam metode RCM. Berikut adalah cara pemilihan tindakan :

1. *Time Directed* (TD)

Time directed merupakan tindakan untuk melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan yang berpedoman pada waktu atau umur komponen. Tindakan yang diambil lebih berfokus kepada aktivitas penggantian yang dilakukan secara berkala.

2. *Condition Directed* (CD)

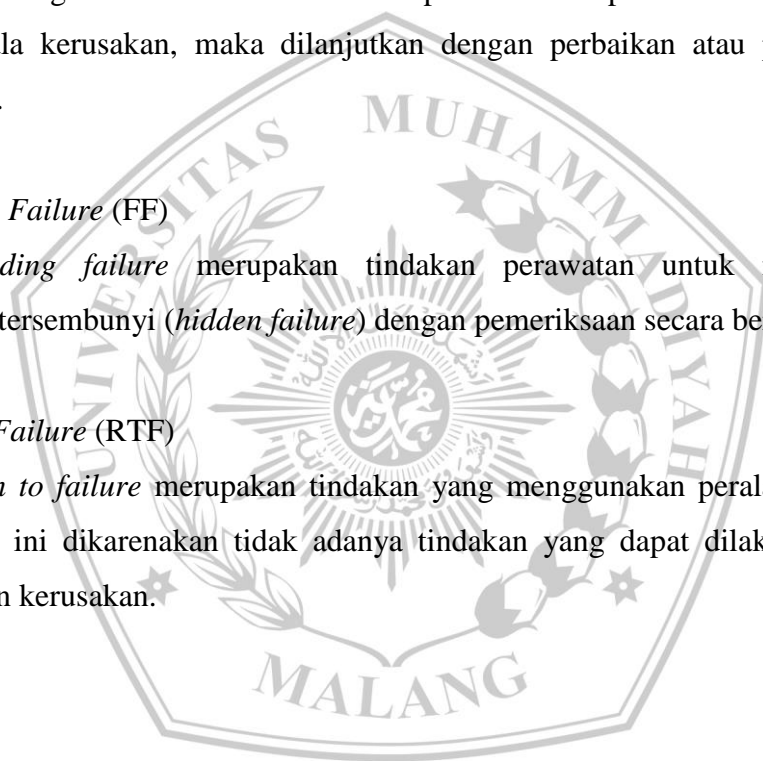
Condition directed merupakan tindakan perawatan yang untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat. Apabila dalam pemeriksaan ditemukan gejala-gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

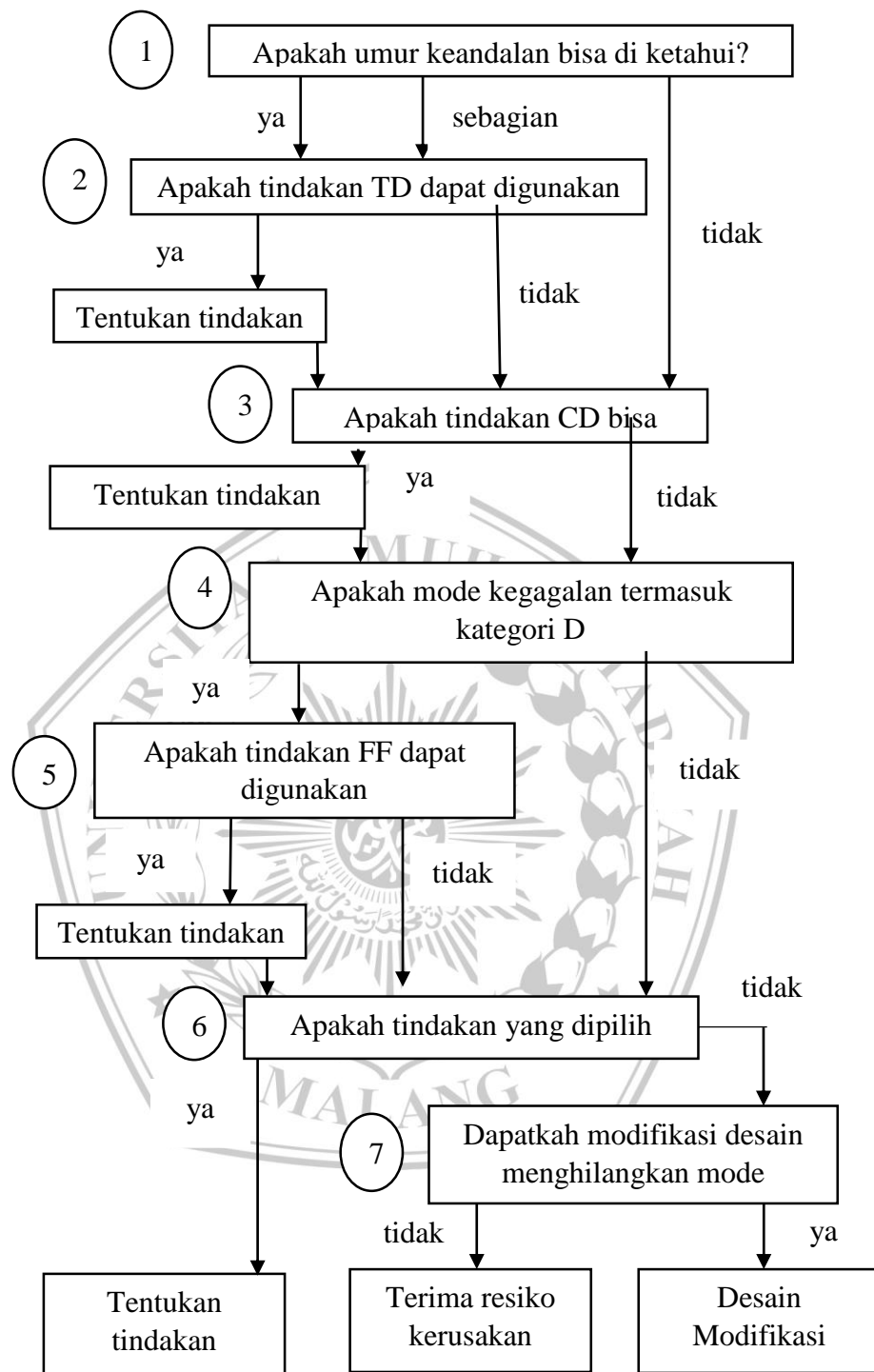
3. *Finding Failure* (FF)

Finding failure merupakan tindakan perawatan untuk menemukan kerusakan tersembunyi (*hidden failure*) dengan pemeriksaan secara berkala.

4. *Run to Failure* (RTF)

Run to failure merupakan tindakan yang menggunakan peralatan sampai rusak. Hal ini dikarenakan tidak adanya tindakan yang dapat dilakukan untuk pencegahan kerusakan.





Gambar 2.2 Road map pemilihan tindakan

Sumber : Moubray